

doi:<https://doi.org/10.15407/emodel.41.05.071>

УДК 621.391

**І.А. Пількевич**, д-р техн. наук, **О.С. Бойченко**, канд. техн. наук,  
**І.В. Гуменюк**, канд. техн. наук  
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова  
(Україна, 10004, м. Житомир, пр-т Миру, 22,  
тел. +38(067) 3978739, e-mail: igor.pilkevich@meta.ua;  
тел. +38(068) 1702502, e-mail: bos\_2006@ukr.net;  
тел. +38(096) 8706003, e-mail: ig\_gum@ukr.net)

### **Метод синтезу бездротової інформаційно-комунікаційної мережі на основі багатокритерійної кластеризації**

Запропоновано метод кластеризації бездротової інформаційно-комунікаційної мережі (ІКМ) для зменшення часу передачі інформації при мінімальних витратах енергії. Метод розроблено на основі відомих алгоритмів кластеризації, зокрема алгоритму геопросторового розміщення вузлів мережі. Метод включає наступні кроки: визначання множини контролерів кластерів, розподілення ІКМ на множину кластерів і обрання контролером кластера пристрою, який має найменше значення цільової функції, та власне самоорганізація ІКМ. Показано, що запропонований метод дозволить забезпечити збільшення часу життя мережі та зменшення енергетичних витрат на передачу інформації між пристроями кластерної зони. При виборі контролера кластера метод враховує не тільки енергетичні характеристики та місцезположення пристроїв, але й пропускну здатність каналу зв'язку, яку може забезпечити відповідний пристрій.

*Ключові слова:* бездротова мережа, енергоефективна кластеризація, багатокритерійна кластеризація, реконфігурація мережі, часткові критерії.

Стрімкий розвиток стандарту IEEE 802.11, призначеного для комунікації в бездротових локальних мережевих зонах, дозволив будувати однорангові локальні мережі за принципом Ad Hoc. Мережі, побудовані за цим принципом, поділяються на стаціонарні (Ad Hoc Networks) та мобільні (Mobile Ad Hoc Networks). Їх перевагами є здатність елементів до самоорганізації в радіомережу, відсутність фіксованої архітектури та можливість динамічної маршрутизації. З метою вибору оптимального маршруту в бездротових інформаційно-комунікаційних мережах (ІКМ) відбувається розподілення мережі на кластери. У кожному із них визначається контролер

© Пількевич І.А., Бойченко О.С., Гуменюк І.В., 2019

кластера за відповідним алгоритмом кластеризації. При цьому для мобільних пристроїв, які мають обмежений енергетичний ресурс та пропускну здатність, постає важливе науково-практичне завдання щодо ефективного управління ресурсами ІКМ з метою зменшення часу передачі великого обсягу інформації з мінімальними енергетичними затратами та з максимальною можливою швидкістю. Актуальність цього важливого завдання зумовлена об'єктивним протиріччям між вимогами до збільшення обсягу переданої інформації за мінімальний час та принциповою неможливістю мінімізувати енергетичні витрати на збільшення швидкості її передачі за рахунок існуючої структури (топології) мережі.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Ефективне управління ресурсами ІКМ полягає у виборі варіанта з множини можливих, для якого контролери кластерів мають максимальну пропускну здатність у кластерній зоні. Цей пристрій є найвіддаленішим від усіх пристроїв у кластерній зоні, має найбільший запас живлення та найбільшу кількість з'єднань з іншими пристроями.

Контролери кластерів визначаються за допомогою методів кластеризації, в основі яких лежать алгоритми кластеризації. Сучасні алгоритми кластеризації мають різноманітні правила вибору контролерів, формують кластери різної розмірності, дозволяють змінювати «стрибкові» відстані між елементами кластера та його контролером, а також використовувати різні схеми для їх підтримки [1, 2].

Сучасні алгоритми кластеризації прийнято класифікувати за такими категоріями [3, 4]:

- 1) кластеризація на основі геопросторового розміщення вузлів ІКМ [5];
- 2) енергоефективна кластеризація [6, 7];
- 3) кластеризація на основі комбінованої ваги [8—11].

Для більшого узагальнення класифікації алгоритмів кластеризації їх можна поділити на дві великі групи: однокритерійні та багатокритерійні. Як критерії доцільно використати такі технічні параметри ІКМ: пропускну здатність каналу зв'язку, яку може забезпечити відповідний пристрій; номінальну та залишкову ємність акумуляторної батареї пристроїв; ступінь їх зв'язності; потужність передачі; географічні координати пристроїв та швидкість їх зміни на площині [2—11].

Результати проведеного аналізу сучасних алгоритмів кластеризації [2—11] свідчать про те, що в методах розподілення ІКМ на кластери для вибору контролера кластера не враховується такий параметр, як пропускну здатність вузла бездротової ІКМ, від якої залежить час передачі інформації. Метою дослідження є зменшення часу передачі інформації з мінімальними витратами енергоресурсів через удосконалення методу багатокритерійної кластеризації бездротової ІКМ.

**Постановка задачі.** Маємо інформаційно-комунікаційну мережу, описувану за допомогою графа

$$G(V, E) = \begin{cases} V = |v_i|, i = 1, \dots, N, \\ E = |e_j|, j = 1, \dots, N, \end{cases}$$

де  $V$  — множина вузлів, які описують логічні зв'язки мережі;  $E$  — множина з'єднань між ними. Вузол мережі — пристрій, який використовує бездротову технологію передачі даних та має такі параметри:

номінальна ємність акумуляторної батареї —  $E_n$  (Вт·год);

її залишкова ємність —  $E_3$  (Вт·год);

максимально можливий радіус дії пристрою за умови, що потужність випромінювача має максимальне значення —  $d$  (м) (для частоти 2,4 ГГц — 1 мВт);

максимальне значення пропускної здатності каналу зв'язку, яку може забезпечити відповідний пристрій, —  $M_{\max}$  (Мбіт/с).

Необхідно визначити множину контролерів кластерів

$$Y = \{y_0, y_1, \dots, y_m\}, m \leq N/2, \quad (1)$$

де  $m$  — кількість кластерів, за якої ІКМ, що складається із  $N$  мобільних пристроїв, є зв'язною, розподілити ІКМ на множину непересічних кластерів  $Q$  з контролерами кластерів  $y_i$  та обрати контролером кластера той пристрій, який має найменше значення цільової функції  $J^*(y_i)$ :

$$Q = \{q_{y_0}, q_{y_1}, \dots, q_{y_m}\}, \forall q_{y_i} \in V, \exists y_i: J^*(y_i) \rightarrow \min; \quad (2)$$

провести самоорганізацію пристроїв ІКМ.

**Метод дослідження багатокритерійної кластеризації бездротової ІКМ.** На першому етапі пристрої на максимальному рівні потужності передавача передають ширококомвні сигнали, внаслідок чого пристрої з'єднуються між собою. У таблиці сусідніх пристроїв заносять дані про такі з них, від яких надійшли відповіді. Далі площину, на якій розташовано мобільні пристрої ІКМ, розподіляють будь-яким відомим методом на визначену кількість кластерних зон.

На другому етапі у відповідній кластерній зоні визначають контролер кластера. Ним призначають той пристрій, який повинен забезпечити максимальну пропускну здатність у кластерній зоні, є найменш віддаленим від решти пристроїв, має найбільший запас живлення та найбільшу кількість з'єднань з іншими пристроями. З цією метою реалізовано розв'язок багатокритерійної задачі щодо побудови адекватної цільової функції, яка є скалярною згорткою часткових критеріїв [12—15]:

$$J^* = f(\max K_{E_i}, \min K_{M_i}, \min K_{L_i}, \max K_{\text{deg}_i}). \quad (3)$$

Тут  $K_{E_i}$  — безрозмірний коефіцієнт залишкового заряду акумуляторної батареї  $i$ -го пристрою,

$$K_{E_i} = E_3 / E_n, \quad (4)$$

тобто це є відношення залишкової ємності акумуляторної батареї до номінальної ємності акумуляторної батареї  $i$ -го пристрою;  $K_{M_i}$  — безрозмірний коефіцієнт розподілення пропускної здатності пристрою за каналами зв'язку між пристроями кластерної зони (контролерами кластерів в ході застосування даного критерію обирають ті пристрої, які мають найменші значення), тобто це відношення середньої пропускної здатності  $i$ -го пристрою до його номінальної пропускної здатності,

$$K_{M_i} = M_{\Sigma_i} / M_{ij}, \quad (5)$$

де  $M_{\Sigma_i} = \frac{\sum_{j=1}^{\text{deg}} (M_{ij} / \text{deg})}{\text{deg}}$  — середня пропускна здатність  $i$ -го пристрою

(Мбіт/с);  $M_{ij}$  — пропускна здатність каналу зв'язку між  $i$ -м та  $j$ -м пристроями в кластерній зоні (Мбіт/с);  $\text{deg}$  — степінь зв'язності пристроїв у кластерній зоні.

Коефіцієнт віддаленості  $i$ -го пристрою від решти пристроїв кластерної зони є відношення всіх відстаней від обраного пристрою до решти кластерної зони,

$$K_{L_i} = L_i / L_k. \quad (6)$$

Тут  $L_k$  — максимально можлива сумарна відстань до всіх пристроїв у кластерній зоні;  $L_i$  — сумарна відстань до всіх пристроїв в кластерній зоні,

$$L_i = \sum_{j=1}^{\text{deg}} L_{ij}, \quad (7)$$

де  $L_{ij}$  — відстань між  $i$ -м та  $j$ -м пристроями.

Коефіцієнт зв'язності  $i$ -го пристрою це є відношення кількості пристроїв, з якими встановлений зв'язок у кластерній зоні, до кількості тих, з якими налагоджено зв'язок  $i$ -м пристроєм у мережі,

$$K_{\text{deg}_i} = \text{deg} / \text{deg}_i \quad (8)$$

де  $\text{deg}_i$  — степінь зв'язності між  $i$ -м пристроєм та іншими пристроями у мережі до розподілення мережі на кластерні зони.

Числові значення коефіцієнтів зв'язності пристроїв кластерної зони лежать у діапазоні від нуля до одиниці. Як контролер кластера для застосування кожного критерію обирають ті пристрої, які мають найменші значення.

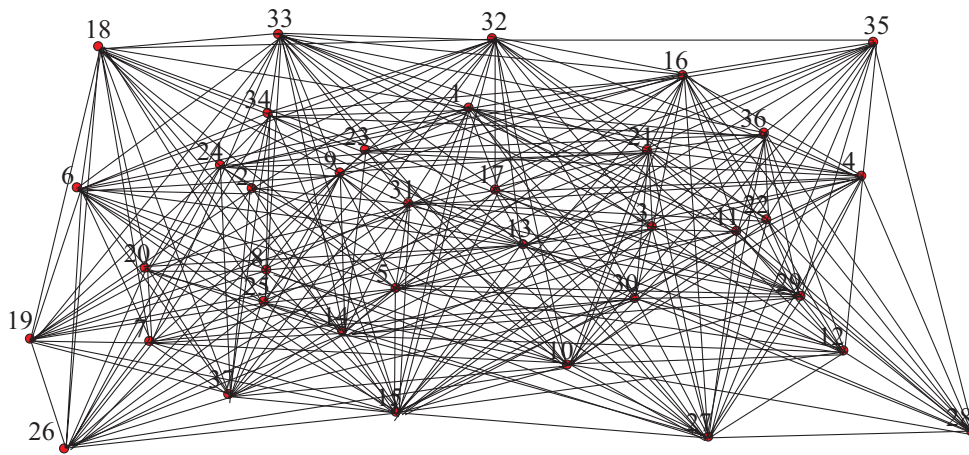


Рис. 1. Самоорганізація пристроїв ІКМ до кластеризації

Відповідно до (3) та з урахуванням (4)—(8) вираз для розрахунку цільової функції набуває такого вигляду:

$$J^* = \arg \min \left( \frac{1}{K_{E_i}} + \frac{1}{1-K_{M_i}} + \frac{1}{1-K_{L_i}} + \frac{1}{K_{\text{deg}_i}} \right).$$

Результатом виконання даного етапу є створення масиву даних, який містить значення цільових функцій, що розраховані для кожного пристрою відповідної кластерної зони. Пристрій, для якого значення цільової функції є найменшим, обирається як контролер кластера.

**Результати досліджень.** Перевірку роботоспроможності методу вибору контролера кластера ІКМ проведено на її зразку, що складається з 37 пристроїв, параметри яких наведено в табл. 1 [16, 17]. Досліджено чотири кластерних зони. Площина, на якій розміщені пристрої, обмежена за віссю  $X$ , від 0 до 1046, а за віссю  $Y$  — від 0 до 572 умовних одиниць.

Відповідно до першого етапу методу пристрої на максимальному рівні потужності передавача передають ширококомвні сигнали, унаслідок чого вони з'єднуються між собою (рис. 1). На наступному етапі отримана ІКМ розподіляється на чотири кластерні зони (рис. 2). Результатом виконання даного етапу є створення чотирьох масивів даних, які містять номери вершин графа  $G(V, E)$ :

$$CZ1 = \{1, 2, 6, 9, 17, 18, 23, 24, 32, 33, 34\};$$

$$CZ2 = \{4, 6, 21, 35, 36\};$$

$$CZ3 = \{5, 7, 8, 14, 15, 19, 20, 25, 26, 31, 37\};$$

$$CZ4 = \{3, 10, 11, 12, 13, 22, 27, 28, 29, 30\}.$$

Таблиця 1

Номер пристрою	Пристрій	$E_n$ , мВт · год	$E_3$ , мВт · год	$M$ , Мбіт/с	Номер пристрою	Пристрій	$E_n$ , мВт · год	$E_3$ , мВт · год	$M$ , Мбіт/с
1	Getac X500 Mobile-Server	94	62	300	20	Getac B300	94	5	450
2	Getac B300	94	89	450	21	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	49	54
3	Panasonic Tough-book mk5 CF-19	59	47	54	22	Getac Z710	28	13	300
4	Getac B300	94	3	450	23	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	44	54
5	Getac Z710	28	11	300	24	Getac Z710	28	13	300
6	Getac F110	31	27	450	25	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	55	54
7	Getac B300	94	40	450	26	Getac Z710	28	21	300
8	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	54	54	27	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	43	54
9	Getac Z710	28	12	300	28	Getac Z710	28	6	300
10	Getac F110	31	25	450	29	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	3	54
11	Getac B300	94	72	450	30	Getac Z710	28	10	300
12	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	56	54	31	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	25	54
13	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	33	54	32	Getac Z710	28	5	300
14	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	42	54	33	Getac F110	31	21	450
15	Getac Z710	28	20	300	34	Getac Z710	28	10	300
16	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	21	54	35	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	57	54
17	Getac Z710	28	5	300	36	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	11	54
18	Getac F110	31	10	450	37	Getac Z710	28	9	300
19	Getac F110	31	23	450					

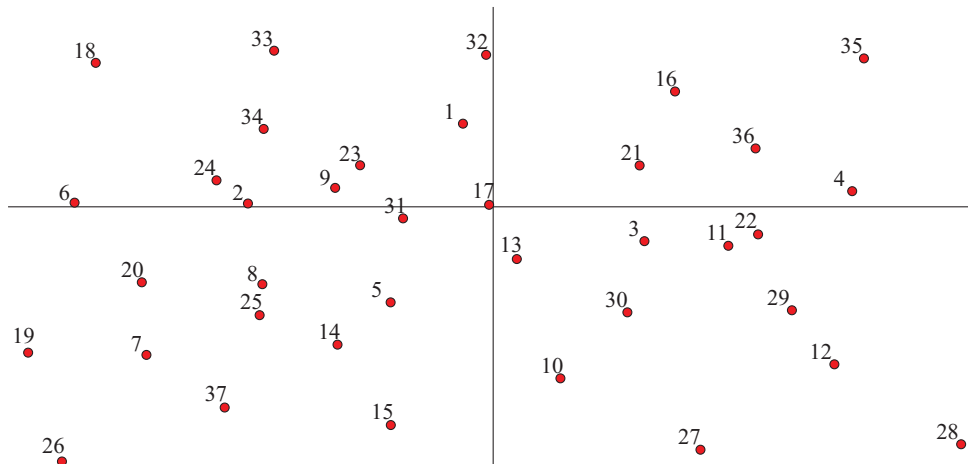


Рис. 2. Розподілення площини ІКМ на чотири кластерні зони

На основі (4)—(8) для кожного пристрою відповідної кластерної зони проведено розрахунок коефіцієнтів, результати якого наведено у табл. 2. З табл. 2 випливає, що контролерами кластерів обрано вузли 2, 36, 25, 12. Отже, результатом даного етапу є масив контролерів кластерів, який набуває такого вигляду:

$$\text{ControlCluster} = \{2, 36, 25, 12\}.$$

Після того, як обрано контролери кластерів, починається етап самоорганізації вузлів через встановлення зв'язку між ними та контролером. Контролери кластера, у свою чергу, з'єднуються між собою за критерієм мінімальної віддаленості один від одного (рис. 3).

Перевірку працездатності розробленого методу проведено за допомогою порівняння значень параметрів пристроїв, обраних контролерами кластерів розробленим методом, методом енергоефективної кластеризації [1] та методом багатокритерійної кластеризації [2]. Дані про параметри контролерів кластера наведено в табл. 3, з якої випливає, що для першого кластера трьома методами кластеризації контролером обрано пристрій 2 (у табл. 2 позначено напівжирним шрифтом).

Для другого кластера розробленим методом обрано контролером пристрій 36, який має, порівняно з іншими методами, найменше значення залишкової ємності акумуляторної батареї. Він є найменш віддаленим від решти пристроїв, розміщених у кластерній зоні. Відтак, пристрій 36 буде витрачати менше енергоресурсів на обмін інформацією з іншими пристроями кластера, ніж 21 та 35, незважаючи на те, що ці пристрої мають більший (майже в чотири та п'ять разів відповідно) безрозмірний коефіцієнт  $K_{E_i}$ .

Таблиця 2

Номер пристрою	Результати розрахунку цільової функції				
	$K_{E_i}$	$K_{M_i}$	$K_{L_i}$	$K_{deg_i}$	$J^*$
<i>Перша кластерна зона</i>					
1	0,66	0,0918	0,7596	0,2941	0,8998443
<b>2</b>	<b>0,947</b>	<b>0,0712</b>	<b>0,5925</b>	<b>0,3333</b>	<b>0,8655676</b>
6	0,871	0,0712	0,9996	0,4546	0,9996232
9	0,429	0,0918	0,5569	0,3125	0,8850413
17	0,179	0,0918	0,8758	0,2857	0,9446379
18	0,323	0,0712	0,9611	0,4546	0,9687079
23	0,746	0,1	0,5623	0,303	0,8722109
24	0,464	0,0918	0,6079	0,3703	0,8797003
32	0,176	0,0918	0,9049	0,303	0,9507973
33	0,677	0,0712	0,6547	0,3448	0,8780661
34	0,357	0,0918	0,5426	0,3333	0,8875731
<i>Друга кластерна зона</i>					
4	0,0319	0,03	0,9179	0,2	0,9798213
16	0,3559	0,25	0,8043	0,1379	0,9394055
21	0,8305	0,25	0,9281	0,129	0,9586562
35	0,9661	0,25	0,9986	0,2222	0,9985752
<b>36</b>	<b>0,1864</b>	<b>0,25</b>	<b>0,4317</b>	<b>0,1539</b>	<b>0,9331393</b>
<i>Третя кластерна зона</i>					
5	0,3929	0,0672	0,7713	0,2941	0,9122059
7	0,4255	0,0515	0,6541	0,4	0,886307
8	0,9153	0,1	0,5887	0,3333	0,8690232
14	0,7119	0,1	0,6379	0,303	0,8834247
15	0,7143	0,0672	0,8634	0,303	0,9236322
19	0,7419	0,0515	0,981	0,4762	0,9825058
20	0,0532	0,0515	0,7123	0,3846	0,9614352
<b>25</b>	<b>0,9322</b>	<b>0,1</b>	<b>0,5552</b>	<b>0,3333</b>	<b>0,865443</b>
26	0,75	0,0672	0,9996	0,4762	0,9995967
31	0,4237	0,1	0,941	0,2857	0,9581995
37	0,3214	0,0672	0,6299	0,3704	0,8956716
<i>Четверта кластерна зона</i>					
3	0,7966	0,111	0,539152	0,28125	0,9374601
10	0,8065	0,044	0,672414	0,272727	0,9674125
11	0,765957	0,044	0,496049	0,321429	0,9656691
<b>12</b>	<b>0,949153</b>	<b>0,111</b>	<b>0,609914</b>	<b>0,428571</b>	<b>0,9331526</b>
13	0,559322	0,111	0,766882	0,25	0,9476071
22	0,464286	0,0605	0,53592	0,333333	0,9580494
27	0,728814	0,111	0,632902	0,346154	0,9374768
28	0,214286	0,0605	0,999641	0,642857	0,9996437
29	0,050847	0,111	0,514727	0,272727	0,9709328
30	0,357143	0,0605	0,510417	0,28125	0,9598829



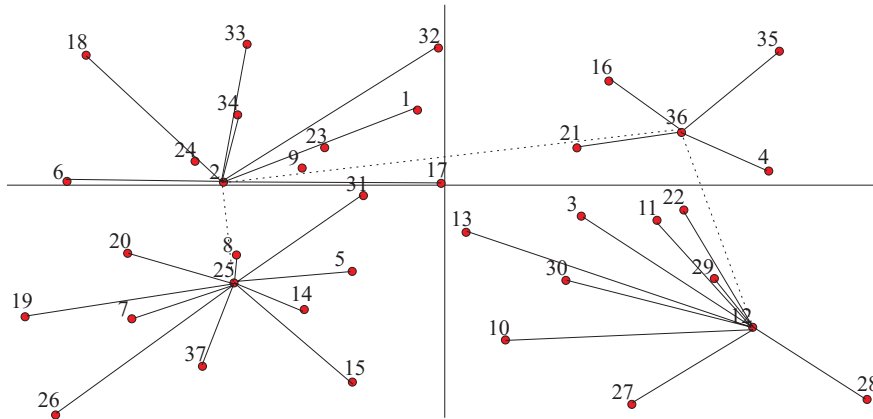


Рис. 3. ІКМ, розподілена на чотири кластери

Таблиця 3

Метод	Контролер кластеру	$E_n$	$E_3$	$M_n$	deg	$L_i$
Запропонований	2	94	89	450	30	1570
	36	59	11	54	26	300
	12	59	56	54	21	1698
	25	59	55	54	30	1374
Енергоефективної кластеризації	2	94	89	450	30	1570
	21	59	49	54	31	645
	12	59	56	54	21	1698
	8	59	54	54	30	1457
Багатокритерійної кластеризації	2	94	89	450	30	1570
	35	59	57	54	18	694
	11	94	72	450	28	1381
	19	31	23	450	21	2428

Для третього кластера контролером обрано пристрій 12, у якого, на відміну від 11, обраного контролером кластера за допомогою методу багатокритерійної кластеризації, пропускна здатність менша, а значення безрозмірного коефіцієнта  $K_{E_i}$  більше. Пристрій 12 є більш віддаленим від решти, ніж 11. Отже, у разі вибору контролером кластера пристрою 12 знизиться пропускна здатність каналів зв'язку між пристроями, що зумовить зменшення енерговитрат, незважаючи на незначне збільшення його віддаленості від решти пристроїв кластера.

У четвертому кластері контролером обрано пристрій 25, який, на відміну від пристроїв 8 та 19, обраних іншими методами, забезпечить наступне:

зменшення енерговитрат через те, що є найменш віддаленим від пристроїв кластера;

збільшення часу життя ІКМ завдяки найбільшому значенню безрозмірного коефіцієнта  $K_{E_i}$ .

Але в разі обрання пристрою 25 контролером кластера зменшиться пропускна здатність каналу зв'язку між самим контролером та іншими пристроями кластерної зони.

### Висновки

Проведена перевірка працездатності розробленого методу кластеризації бездротової ІКМ свідчить про збільшення часу життя мережі та зменшення енергетичних витрат на передачу інформації між пристроями кластерної зони. При виборі контролера кластера цей метод враховує не тільки енергетичні характеристики та місцеположення пристроїв, а й пропускну здатність каналу зв'язку, яку може забезпечити відповідний пристрій. Подальші наукові дослідження будуть спрямовані на розробку системи підтримки та прийняття рішення щодо вибору методу кластеризації бездротової ІКМ залежно від висунутих до неї вимог.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Mercy Rani A., Sivaranjani J.* A state of art of various clustering schemes in MANET // International Journal of Innovative Research in Science and Engineering, 2017, Vol. 3, Issue 2, p. 68—75.
2. *Chawla M., Singhai J., Rana J.L.* Clustering in mobile ad-hoc networks: a review // International Journal of Computer Science and Information Security, 2010, Vol. 8, № 2, p. 293—301.
3. *Сова О.Я., Лукіна К.В., Олексенко В.П., Шаповал О.М.* Аналіз методів кластеризації для визначення вузла-координатора в мобільних радіомережах класу MANET // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації, 2017, № 4, с. 121—128.
4. *Alinci M., Spaho E., Lala A., Kolic V.* Clustering Algorithms in MANETs: A review // Proc. 9th Int. Conf. Complex Intell. Softw. Intensive Syst. (CISIS), 2015, p. 330—335.
5. *Путренко В.В., Красовська І.Г.* Кластеризація геопросторових даних при інтелектуальному аналізі // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2015, № 3 (73), с. 45—52.
6. *Бойченко О.С., Артюшин Л.М.* Метод енергоефективної кластеризації інформаційно-комунікаційної мережі автоматизованої системи управління військами // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, 2017, № 3 (30), с. 26—32.
7. *Walia P., Mehta A.* Energy efficient geographic adaptive fidelity in wireless sensor networks // IOSR Journal of Computer Engineering, 2015, Vol. 17, Issue 5, Ver. 1, p. 46—55. DOI: 10.9790/0661-17514655.

8. Бойченко О.С., Поздняков П.В. Метод багатокритерійної кластеризації бездротової інформаційно-комунікаційної мережі // Системи обробки інформації, 2018, № 1, с. 80—86. DOI: 10.30748/soi.2018.152.12.
9. Hussain K., Abdul Hanan Abdullah, Saleem Iqbal, Khalid M. Awan, Faraz Ahsan Efficient cluster head selection algorithm for MANET // Journal of Computer Networks and Communications, 2013, Vol. 2013, p. 1—7. DOI: 10.1155/2013/723913.
10. Abbas Karimi, Abbas Afsharfania, Faraneh Zarafshan, S.A.R. Al-Haddad A novel clustering algorithm for Mobile Ad Hoc Networks based on determination of virtual links weighted to increase network stability // The Scientific World Journal, 2014, Vol. 2014, p. 1—11. DOI: 10.1155/2014/432952.
11. Bednarczyk W., Gajewski P. An enhanced algorithm for MANET clustering based on weighted parameters // Universal Journal of Communications and Network, 2013, № 1 (3), p. 88—94. DOI: 10.13189/ujcn.2013.010302.
12. Воронин А.Н. Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем // Кибернетика и системный анализ, 2007, № 3, с. 84—92.
13. Воронин А.Н. Нелинейная схема компромиссов в многокритериальных задачах оценивания и оптимизации // Там же, 2009, № 4, с. 106—114.
14. Воронин А.Н. Многокритериальное распределение ограниченных ресурсов // Проблемы управления и информатики, 2010, № 4, с. 143—150.
15. Гришук Р.В., Даник Ю.Г. Основы кібернетичної безпеки. Житомир: ЖНАЕУ, 2016, 636 с.
16. Домашняя страница Продукты Getac. URL: <https://www.getac.com/ru/products> (дата звернення: 31.05.2019).
17. Все продукты Panasonic. URL: <https://www.panasonic.com/ru/consumer/all-products.html> (дата звернення: 31.05.2019).

Отримано 18.06.19

## REFERENCES

1. Mercy, Rani A., Sivaranjani, J. (2017), “A state of art of various clustering schemes in MANET”, *International Journal of Innovative Research in Science and Engeneering*, Vol. 3, Iss. 2, pp. 68-75.
2. Chawla, M., Singhai, J., Rana, J.L. (2010), “Clustering in mobile ad-hoc networks: a review”, *International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol. 8, no. 2, pp. 293-301.
3. Sova, O.YA., Lukina, K.V., Oleksenko, V.P. and Shapoval, O.M. (2017), “Analysis of clustering methods for determining the coordinator node in MANET mobile radio networks”, *Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu telekomunikatsiy ta informatyzatsiyi*, no. 4, pp. 121-128.
4. Alinci, M., Spaho, E., Lala, A. and Kolicic, V. (2015), “Clustering Algorithms in MANETs: A review”, *the Proceeding of 9th International Conference Complex Intell. Softw. Intensive Syst. (CISIS)*, 2015, pp. 330-335.
5. Putrenko, V.V., Krasovs'ka, I.H. (2015), “Clustering of geospatial data in intellectual analysis”, *Radioelektroni i komp'yuterni systemy*, no. 3, pp. 45-52.
6. Boychenko, O.S., Artyushyn, L.M. (2017), “Method of energy efficient clustering of information and communication network of the automated military control system”, *Suchasni informatsiyi tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony*, no. 3, pp. 26-32.
7. Walia, P. and Mehta, A. (2015), “Energy efficient geographic adaptive fidelity in wireless sensor networks”, *IOSR Journal of Computer Engineering*, Vol. 17, Iss. 5, pp. 46-55, DOI: 10.9790/0661-17514655.

8. Boychenko, O.S., Pozdnyakov, P.V. (2018), "Method of multicriteria clustering of wireless information and communication network", *Systemy obrobky informatsiyi*, no. 1, pp. 80-86, DOI: 10.30748/soi.2018.152.12.
9. Hussain, K., Abdul, H.A., Saleem, I., Khalid, M.A. and Faraz, A. (2013), "Efficient cluster head selection algorithm for MANET", *Journal of Computer Networks and Communications*, Vol. 2013, pp. 1-7, DOI: 10.1155/2013/723913.
10. Abbas, K., Abbas, A., Faraneh, Z. and S.A.R. Al-Haddad. (2014), "A novel clustering algorithm for Mobile Ad Hoc Networks based on determination of virtual links weighted to increase network stability", *The Scientific World Journal*, Vol. 2014, pp. 1-11, DOI: 10.1155/2014/432952.
11. Bednarczyk, W. and Gajewski, P. (2013), "An enhanced algorithm for MANET clustering based on weighted parameters", *Universal Journal of Communications and Network*, no. 1, pp. 88-94, DOI: 10.13189/ujcn.2013.010302.
12. Voronin, O.N. (2007), "Method of multicriteria assessment and optimization of hierarchical systems", *Kibernetika ta systemnyy analiz*, no. 3, pp. 84-92.
13. Voronin, O.M. (2009), Nonlinear scheme of compromises in multicriteria problems of estimation and optimization, *Kibernetika ta systemnyy analiz*, no. 4, pp. 106-114.
14. Voronin, A.N. (2010), "Multi-criteria allocation of limited resources", *Problemy upravlinnya ta informatyky*, no. 4, pp. 143-150.
15. Hryshchuk, R.V., Danyk, YU. H. (2016), *Osnovy kibernetichnoyi bezpeky* [Fundamentals of cyber security], Zhytomyr: ZHNAEU.
16. "Getac Products Homepage", available at: <https://www.getac.com/ru/products> (accessed September 4, 2019).
17. "All Panasonic Products", available at: <https://www.panasonic.com/ru/consumer/all-products.html> (accessed September 4, 2019).

Received 18.06.19

*І.А. Пількевич, О.С. Бойченко, І.В. Гуменюк*

#### МЕТОД СИНТЕЗА БЕСПРОВОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Предложен метод кластеризации беспроводной информационно-коммуникационной сети (ИКС) для сокращения времени передачи информации при минимальных затратах энергии. Метод разработан на основе известных алгоритмов кластеризации, в частности алгоритма геопространственного размещения узлов сети. Метод включает следующие шаги: определение множества контроллеров кластеров, распределение ИКС на множество кластеров и выбор в качестве контроллера кластера устройства, имеющего наименьшее значение целевой функции, и собственно самоорганизация ИКС. Показано, что предложенный метод позволяет увеличить время функционирования сети и снизить энергозатраты на передачу информации между устройствами кластерной зоны. При выборе кластерного контроллера метод учитывает не только энергетические характеристики и расположение устройств, но и пропускную способность канала связи, которую может обеспечить соответствующее устройство.

*К л ю ч е в ы е с л о в а*: беспроводная сеть, энергоэффективная кластеризация, многокритериальная кластеризация, реконфигурация сети, частичные критерии.

*I.A. Pilkevich, O.S. Boychenko, I.V. Humeniuk*

METHOD FOR THE SYNTHESIS  
OF WIRELESS INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK  
BASED ON MULTI-CRITERIA CLUSTERING

The method of clustering the wireless information and communication network (ICN) to reduce the time of information transfer with minimal energy consumption is proposed. The method is developed on the basis of known clustering algorithms, particularly algorithm geospatial placement of nodes in the network. The method includes the following steps: determining the set of cluster controllers, the distribution of the ICN for many clusters and electing as cluster controller the device that has the lowest value of the objective function and the self-organization of the ICN. It is shown that the proposed method will allow to increase life time of network and reduce energy costs for the transfer of information between devices of a cluster area. The method to select the cluster controller takes into account not only the energy characteristics and the location of devices, but also the bandwidth of the communication channel, which can provide appropriate device.

*К e y w o r d: wireless network, energy efficient clustering, multicriteria clustering, network re-configuration, partial criteria.*

*ПІЛЬКЕВИЧ Ігор Анатолійович, д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних інформаційних технологій Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова. У 1982 р. закінчив Житомирське військове училище радіоелектроніки ППО. Область наукових досліджень — математичне моделювання складних систем, інформаційна безпека.*

*БОЙЧЕНКО Олег Сергійович, канд. техн. наук, начальник науково-дослідної лабораторії наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова, який закінчив у 2004 р. Область наукових досліджень — захист інформації, моделювання інформаційно-телекомунікаційних систем.*

*ГУМЕНЮК Ігор Володимирович, канд. техн. наук, ст. викладач кафедри захисту інформації та кібербезпеки Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова. У 2010 р. закінчив Житомирський військовий інститут Національного авіаційного університету. Область наукових досліджень — захист інформації, моделювання інформаційно-комунікаційних систем.*